

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



**VYUŽITÍ DRUŽICOVÝCH DAT VYSOKÉHO  
ČASOVÉHO ROZLIŠENÍ V SLEDOVÁNÍ  
ZEMĚDĚLSKÝCH PLOCH V ČESKU**

**MONITORING OF AGRICULTURAL LAND BY USING  
THE SATELLITE HIGH TEMPORAL RESOLUTION DATA  
IN CZECHIA**

Bakalářská práce

Veronika Oubrechtová

květen 2010

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 20. května 2010

---

Veronika Oubrechtová

### **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé práce RNDr. Přemyslu Štychovi Ph.D. za věnovaný čas a cenné připomínky.

## **Využití družicových dat vysokého časového rozlišení v sledování zemědělských ploch v Česku**

### **Abstrakt**

Předmětem této práce jsou družicové snímky vysokého časového rozlišení, které jsou přijímány na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie a které jsou využity ke sledování zemědělských ploch na území Česka. První část práce podává informace o dálkovém průzkumu Země, vlastnostech elektromagnetického záření a jeho interakci se zemským povrchem, což je dále prakticky zpracováno na vybraných zemědělských plodinách. Rovněž je rozebrána problematika precizního zemědělství a řešerše literatury. Čtenář tak získá stručný přehled o možnostech využití družicových dat v zemědělství.

**Klíčová slova:** dálkový průzkum Země, spektrální křivky odrazivosti, vegetační index NDVI, MERIS

## **Monitoring of agricultural land by using the satellite high temporal resolution data in Czechia**

### **Abstract**

This Bachelor thesis deals with the usage of the satellite high temporal resolution data in the field of agriculture. Our faculty gains these satellite data from satellite ENVISAT, concretely from spectrometer MERIS. The first half of the work contains the theoretical elaboration of remote sensing and electromagnetic radiation and its interaction with land surface. The spectral reflectance of agricultural land and the vegetation index are analyzed in the second part of the work.

**Keywords:** remote sensing, spectral reflectance, Normalized Difference Vegetation Index, MERIS

## OBSAH

<b>Přehled použitých zkratk</b> .....	7
<b>Seznam obrázků, tabulek a grafů</b> .....	8
<b>1 Úvod</b> .....	9
<b>2 Uvedení do problematiky</b> .....	10
2.1 Dálkový průzkum Země .....	10
2.1.1 Definice .....	10
2.1.2 Historie .....	11
2.1.3 Fyzikální podstata .....	11
2.2 Elektromagnetické záření .....	12
2.2.1 Elektromagnetické spektrum .....	13
2.2.2 Spektrální příznaky .....	15
2.2.3 Spektrální vztah vegetace v oblastech spektra .....	16
2.3 Družicové systémy .....	17
2.3.1 Rozlišovací schopnost .....	18
2.3.2 Přístroje s vysokou časovou rozlišovací schopností .....	19
2.3.3 ENVISAT .....	19
2.3.3.1 Technické parametry .....	20
2.3.3.2 MERIS .....	21
2.3.3.3 AATSR .....	22
2.4 Precizní zemědělství a literární rešerše .....	23
2.4.1 Precizní zemědělství .....	23
2.4.2 Literární rešerše .....	24
<b>3 Použitá data a metodika práce</b> .....	25

3.1 Použitá družicová data.....	25
3.2 Výběr zemědělských ploch.....	26
3.3 Úprava snímků .....	27
3.4 Ortorektifikace .....	28
3.5 Vymezení pixelů na družicových snímcích .....	28
3.6 Tvorba spektrálních křivek .....	28
3.7 Spektrální indexy .....	29
<b>4 Výsledky .....</b>	<b>31</b>
<b>5 Diskuze a závěr.....</b>	<b>39</b>
5.1 Diskuze.....	39
5.2 Závěr.....	40
<b>Seznam zdrojů.....</b>	<b>42</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>45</b>

## PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

AATSR	<b>A</b> dvanced <b>A</b> long <b>T</b> rack <b>S</b> canning <b>R</b> adiometer
AOD	<b>A</b> erosol <b>O</b> ptical <b>D</b> epth
CCD	<b>C</b> harge- <b>C</b> oupled <b>D</b> evice
DPZ	<b>D</b> álkový průzkum <b>Z</b> emě
ENVISAT	<b>E</b> nvironmental <b>S</b> atellite
EOLi	<b>E</b> arth <b>O</b> bservation <b>L</b> ink
ESOC	<b>E</b> uropean <b>S</b> pace <b>O</b> perations <b>C</b> entre
FIR	<b>F</b> ar infrared radiation
GETASSE30	<b>G</b> lobal <b>E</b> arth <b>T</b> opography <b>A</b> nd <b>S</b> ea <b>S</b> urface <b>E</b> levation at <b>30</b> arc second resolution
GIS	<b>G</b> eoinformační systémy
GPS	<b>G</b> lobal <b>P</b> ositioning <b>S</b> ystem
LWIR	<b>L</b> ong <b>w</b> ave infrared radiation
MERIS	<b>M</b> edium <b>R</b> esolution <b>I</b> maging <b>S</b> pectrometer
MWIR	<b>M</b> edium <b>w</b> ave infrared radiation
NDVI	<b>N</b> ormalized <b>D</b> ifference <b>V</b> egetation <b>I</b> ndex
NIR	<b>N</b> ear infrared radiation
RGB	<b>R</b> ed <b>G</b> reen <b>B</b> lue
SMAC	<b>S</b> implified <b>M</b> ethod for <b>A</b> tmospheric <b>C</b> orrection
SOSI	<b>S</b> patial <b>O</b> bservation <b>S</b> ervices and <b>I</b> nfrastructure
SWIR	<b>S</b> hort infrared radiation
TTP	<b>T</b> rvalé travní porosty
UTM	<b>U</b> niverzální transverzální <b>M</b> ercatorovo zobrazení
WGS 84	<b>W</b> orld <b>G</b> eodetic <b>S</b> ystem 1984

## SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obr. 1	Systém DPZ .....	12
Obr. 2	Elektromagnetická vlna .....	13
Obr. 3	Spektrální chování povrchu .....	15
Obr. 4	Zobrazení absorpce, odrazu a průchodu záření .....	16
Obr. 5	Odrazivost elektromagnetického záření u vegetace .....	17
Obr. 6	Družice ENVISAT .....	20
Tab. 1	Charakteristika elektromagnetického spektra .....	13
Tab. 2	Charakteristika viditelné části spektra .....	15
Tab. 3	Charakteristika přístrojů ENVISATU .....	21
Tab. 4	15 spektrálních pásem MERISU .....	22
Tab. 5	7 spektrálních pásem AATSR .....	23
Tab. 6	Typické hodnoty NDVI .....	30
Tab. 7	Hodnoty NDVI jednotlivých plodin .....	37
Graf 1	Vývoj spektrální odrazivost ovocných sadů .....	32
Graf 2	Vývoj spektrální odrazivost vinic .....	33
Graf 3	Vývoj spektrální odrazivost obilí .....	34
Graf 4	Vývoj spektrální odrazivost trvalých travních porostů .....	35
Graf 5	Vývoj spektrální odrazivost řepky olejky .....	36
Graf 6	Vývoj spektrální odrazivost chmelu .....	37



## **KAPITOLA 1**

### **Úvod**

S neustále se zvyšujícím počtem obyvatel na planetě Zemi jsou spjaty rostoucí nároky na jejich obživu. Jelikož si člověk zajišťuje potravu skrze zemědělství, navyšují se v posledních letech požadavky právě na tento obor hospodářství. V souvislosti s rozvojem informačních technologií se rodí nové možnosti, pomocí nichž lze zemědělství zefektivnit.

Cílem této práce je zhodnocení eventuálního potenciálu družicových dat vysokého časového rozlišení a jejich případné využití v zemědělství. Předpokládáme-li, že jednotlivé druhy zemského povrchu zobrazené na snímku z vesmírné družice, jsou rozlišitelné díky jejich odlišnému chemickému složení a struktuře látek, které tyto předměty tvoří. Důsledkem toho je pak nehomogenita v reakci na přicházející elektromagnetické záření, jež je jedním z hlavních aktérů při tvorbě dálkového průzkumu Země. Pro dosažení tohoto cíle byly zkoumány spektrální křivky vybraných zemědělských kultur na snímcích MERIS z družice ENVISAT, které jsou přijímány na katedře aplikované geoinformatiky a kartografie. Na základě terénního pozorování zemědělských plodin na vybraném území byla vytvořena báze spektrálních vlastností zemědělských kultur. Dále byly vypočteny vegetační indexy, díky nimž se určí kvalitativní stránka zemědělských ploch. Na počátku zkoumání byla stanovena hypotéza, že zemědělské plodiny dosahují největší odrazivosti v jejich plném vývoji, kdy je zároveň eliminován vliv půdy na odrazivost záření.

Práce se nejprve věnuje detailnějšímu popisu dálkového průzkumu Země. Další část se zabývá spektrálními charakteristikami objektů na zemském povrchu, jejichž znalost umožňuje následnou identifikaci. Dále je rozebrána problematika precizního zemědělství, domácí a zahraniční literatura, která se zabývá podobnou problematikou. Po této kapitole jsou charakterizována data, co byla pro tuto práci použita. Po teoretické části pokračuje práce popisem metodické práce se snímky. Jedná se o jejich zpracování, tvorbu spektrálních křivek odrazivosti a vytvoření vegetačních indexů. Dále jsou prezentovány výsledky, které jsou v následující kapitole diskutovány.

## KAPITOLA 2

### Uvedení do problematiky

#### 2.1 Dálkový průzkum Země

##### 2.1.1 Definice

Termín „dálkový průzkum Země“ (anglicky „Remote sensing“, francouzsky „Teledetection“, německy „Fernerkundung“) zavedla v polovině 20. století anglická geografa Evelyn L. Pruitt (1918 – 2000) z U. S. Office of Naval Research. Použití tohoto termínu je spojeno především s rozvojem kosmonautiky, kdy k dosud používaným technologiím přibyla možnost snímání zemského povrchu z družice. Obecně můžeme říci, že dálkový průzkum Země (dále jen DPZ) se zabývá výzkumem zemského povrchu, pro který využívá výhradně distanční data, tj. data získaná snímáním pomocí senzorů z větší vzdálenosti od zemského povrchu. (Kolář 2008). Následujícími definicemi lze víceméně charakterizovat DPZ:

„Dálkový průzkum je umění rozdělit svět na množství malých barevných čtverečků, se kterými si lze hrát s cílem odhalení jejich neuvěřitelného potenciálu.“ (Jon Huntington)

„Dálkový průzkum je věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jiných jevech prostřednictvím dat měřených na zařízení, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu.“ (Lillesand, 1994)

„Dálkový průzkum je způsob získávání informací o zemském povrchu i vodních plochách s využitím snímků pořízených z ptáčí perspektivy, využívá elektromagnetického záření v jednom nebo více intervalech spektra, toto záření je odráženo nebo emitováno ze zemského povrchu.“ (Campbell, 1996)

DPZ je součástí geoinformačních technologií, které jsou v současné době hlavní metodou získávání informací o zemském povrchu.

### 2.1.2 Historie

Jak již z názvu tohoto oboru plyne, jedná se o průzkum Země, tedy o zjištění jakékoli informace o objektech či jevech, jenž jsou součástí planety Země. Vezmeme-li zároveň v úvahu fakt, že tuto informaci zjišťujeme dálkově, bez přímého kontaktu, jsou počátky této vědní disciplíny spjaty s rozvojem fotografie, létání a v neposlední řadě s kosmonautikou.

Roku 1827 vytvořil Joseph Nicéphore Nicpée první fotografii a již v roce 1858 pořídil Gaspard Felix Tournachon (zvaný též Nadar) první snímek zemského povrchu (konkrétně Bievre Valley) z balónu. Ještě než byl zemský povrch fotografován z letadla, použil Julius Neubranner roku 1903 jako nosič kamery, jejíž váha činila pouhých 70 gramů a frekvence snímkování byla 30 sekund, holuba. Roku 1909 bylo započato snímkování z letadla, které se během první světové války zesystematizovalo, ovšem data byla určena výhradně vojenským účelům. Od druhé poloviny 20. let 20. století se postupně začínají vyvíjet družice a tak přesně 100 let po první fotografii z balónu je pořízen snímek z družice Explorer IV.

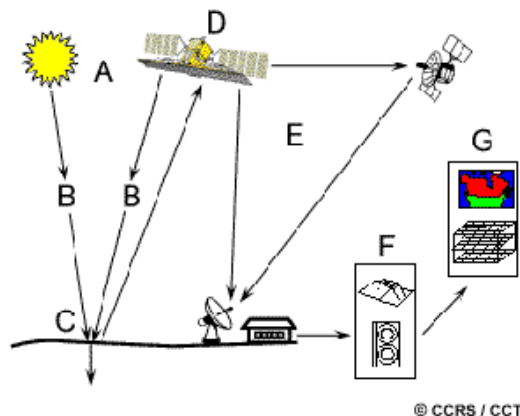
Dálkový průzkum Země zaznamenává od doby svého vzniku dynamický rozvoj a v současné době již zasahuje do mnoha dalších oborů. Data DPZ jsou úspěšně užívána v oblasti zemědělství (klasifikace zemědělských plodin, odhad zemědělské produkce), lesnictví (sledování lesní těžby, hodnocení škod), oceánografii (detekce výskytu ker, naftových skvrn), mapování (monitorování rozvoje měst, aktualizace stávajících map) a v řadě dalších oborů. (Gisat, 2010)

### 2.1.3 Fyzikální podstata

Poznatek, že pro každý fyzikální objekt a jeho stav existuje charakteristický způsob, jakým působí na okolní silová pole, je nosným kamenem pro všechna distanční měření. Silové pole, s jehož charakteristikami se v DPZ pracuje, představuje *elektromagnetické pole (záření)*. Člověk, který od nepaměti získává informace o svém okolí, využívá k tomuto účelu nejčastěji své oči, neboť lidský zrak je citlivý na viditelnou část elektromagnetického záření. Základním fyzikálním jevem, na kterém je celý proces dálkového průzkumu založen, je interakce elektromagnetického záření se zkoumaným látkovým objektem (Kolář, 1990). Zprávy o jejím průběhu udává energie, která je přijímána detektorem v určitém intervalu vlnových délek. Součástí celého systému dálkového průzkumu jsou tři základní části (Obr. č.1). První část tvoří faktory, bez nichž by k žádnému měření nemohlo dojít a na kterých závisí velikost měřené veličiny. Mezi ně patří zdroj záření (A), který vysílá elektromagnetické záření (B) dopadající na zemský povrch (C). Dalším prvkem je měřicí aparatura (D), kde se zaznamenává energie odražená či vyzařovaná od zkoumaného objektu. Pořízení dat o krajině zajišťují nejrůznější přístroje (např. skenery, radiometry, fotografické kamery, spektrometry), které jsou umístěné

na nosičích (např. balóny, vrtulníky, výsuvné plošiny, letadla, umělé družice, kosmické stanice). Závěrečnou část představuje přenos dat na přijímací stanici (E) a jejich následné zpracování pomocí sofistikovaných softwarů (F, G).

Obrázek č. 1: Systém DPZ



Zdroj: CCRS

## 2.2 Elektromagnetické záření

Prvotní impuls pro vznik elektromagnetického záření je dán pohybem nabitých částic. Elektromagnetické záření spočívá ve vlnění, přičemž elektromagnetická vlna (Obr. č. 2) má dvě navzájem neoddělitelné složky. Elektrickou složku charakterizuje vektor  $E$  a magnetickou složku vektor  $M$ , který je na předcházející kolmý. Kmity obou vektorů probíhají napříč ke směru, kterým se šíří, a jejich rychlost je shodná s rychlostí světla  $c$  (tj. 299 792 458 metrů za sekundu). K základním charakteristikám elektromagnetického záření patří vlnová délka ( $\lambda$ ), perioda ( $T$ ) a frekvence ( $\nu$ ).

*Vlnová délka* je rovna délce jednoho vlnového cyklu, která je měřena v metrech, častěji v nanometrech ( $10^{-9}$  m), mikrometrech ( $10^{-6}$  m) nebo centimetrech ( $10^{-2}$  m).

*Perioda* udává dobu trvání jednoho opakování periodického děje, v našem případě je to doba, za kterou se vlna dostane na výchozí místo.

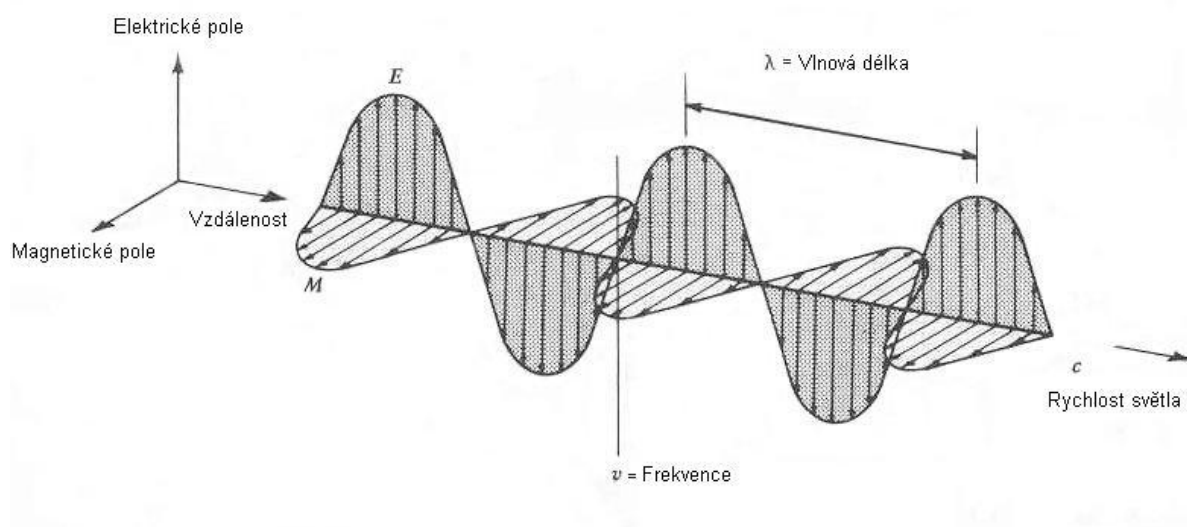
*Frekvence* je převrácená hodnota periody a udává počet opakování periody za jednotku času.

Vztah mezi těmito fyzikálními veličinami upřesňuje vzorec: (viz přednášky doc. Koláře, 2009)

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{\nu}$$

Vzhledem k tomu, že se každá hmota a látka skládá z nabitých částic, které kmitají, nenachází se na Zemi žádný předmět, který by nebyl zdrojem záření.

Obrázek č. 2: Elektromagnetická vlna



Zdroj: Lillesand, 1994 (upraveno)

## 2.2.1 Elektromagnetické spektrum

Systémy dálkového průzkumu detekují různé druhy elektromagnetického záření, které jsou vzájemně odlišné svou vlnovou délkou a souhrnně jsou nazývány *elektromagnetické spektrum* (Tab. č. 1). Jak již bylo výše uvedeno, lidský zrak reaguje na velmi úzkou (avšak velmi důležitou) oblast spektra, viditelné záření. Nejkratší vlnovou délkou a zároveň největší frekvencí disponuje kosmické záření (gama vlny). Postupně dochází ve spektru k nárůstu vlnové délky, ke které je nepřímo úměrná frekvence daného záření. Nejmenší frekvence pak dosahuje rádiové záření, které má současně nejdelší vlnovou délku.

Tabulka č. 1: Charakteristika elektromagnetického spektra

záření	vlnová délka [m]
kosmické (gamma)	$< 3 \cdot 10^{-11}$
rentgenové	$3 \cdot 10^{-11} - 3 \cdot 10^{-7}$
ultrafialové	$3 \cdot 10^{-7} - 38 \cdot 10^{-8}$
viditelné	$38 \cdot 10^{-8} - 72 \cdot 10^{-8}$
infráčervené	$72 \cdot 10^{-8} - 3 \cdot 10^{-3}$
mikrovlnné	$3 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^1$
rádiové	$\geq 3 \cdot 10^1$

Zdroj: Campbell, 1987, Kolář, 2008

V dálkovém průzkumu se nejčastěji využívá záření ultrafialového, viditelného, infračerveného a mikrovlnného. Následující odstavce se proto věnují podrobněji charakteristikám těchto druhů elektromagnetického spektra.

*Ultrafialové záření* je prospěšné především pro specializovaný geologický dálkový průzkum, neboť indukuje fluoreskování<sup>1</sup> u některých minerálů a kamenů. S pomocí právě této oblasti záření lze rovněž monitorovat ropné skvrny či ložiska kovů (např. zlata). Jelikož je toto záření pro živé organismy škodlivé a v atmosféře dochází k jeho rozptylu, není jeho užití v oboru DPZ příliš široké.

Ačkoli oblast *viditelného záření* zaujímá pouze úzkou část spektra, má právě toto záření očitelnou hodnotu v DPZ. Meze viditelného záření jsou rozpoznatelné pro lidské oko. Viditelné světlo se skládá z fialové (nejkratší vlnová délka), modré, zelené, žluté oranžové a červené (nejdelší vlnová délka) barvy (Tab. č. 2). Za základní (primární) barvy je považována modrá, zelená a červená. Smícháme-li je v určité kombinaci, můžeme získat ostatní barvy viditelného spektra, avšak modrou, zelenou ani červenou nezískáme skládáním jiných barev. Vezmeme-li stejný podíl z každé z nich, dostaneme barvu bílou. Barvy jednotlivých objektů na Zemi jsou stanovené barvou viditelného světla, která je odražena od těchto předmětů. Tento barevný RGB model (R = red, G = green, B = blue) je užíván i ve všech monitorech.

Velmi významnou částí spektra je *infračervené záření*, které je v porovnání s ostatními oblastmi elektromagnetického spektra velmi široké. Protože jeho rozsah je od 0,72  $\mu\text{m}$  do 3 000  $\mu\text{m}$ , dále se dělí. Blízké infračervené záření (NIR) pokrývající vlnové délky 0,72  $\mu\text{m}$  – 1,3  $\mu\text{m}$  je důležité ke studiu vegetace, čímž se právě tato práce zabývá. Jeho uplatnění se tedy najde v zemědělství, popřípadě lesnictví. Záření s krátkou vlnovou délkou (SWIR) je využíváno při detekci vody a sněhu, protože při vlnové délce 1,45  $\mu\text{m}$  dochází ke značnému nárůstu absorpce přicházejícího záření vodními částicemi. Další infračervené záření tzv. záření střední vlnové délky (MWIR), jehož meze jsou 3  $\mu\text{m}$  až 8  $\mu\text{m}$ , a záření dlouhé vlnové délky (LWIR) od 8  $\mu\text{m}$  do 15  $\mu\text{m}$  se aplikují při zjišťování tepelné bilance objektů na povrchu Země. Poslední, dlouhé infračervené záření (FIR) pokrývající vlnové délky 15  $\mu\text{m}$  – 3000  $\mu\text{m}$ , je pohlcováno v atmosféře, tudíž je jeho uplatnění v DPZ mizivé.

Nejdelších vlnových délek (1 mm – 1m) běžně užívaných v dálkovém průzkumu dosahuje *mikrovlnné záření*. Jeho vlastností nejčastěji využívají radary, jež aktivně vysílají právě toto záření a následně poskytují informace o geomorfologii, pohybu ledových ker, ale i o meteorologických jevech. (Campbell, 1987, Kolář, 2008).

---

<sup>1</sup> je způsobeno emisemi z viditelné části spektra

Tabulka č. 2: Charakteristika viditelné části spektra

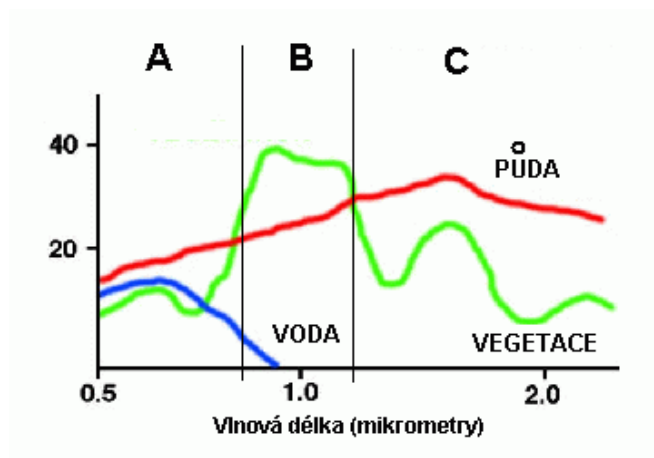
barva	vlnová délka [μm]
fialová	0,400 - 0,446
modrá	0,447 - 0,500
zelená	0,501 - 0,578
žlutá	0,579 - 0,592
oranžová	0,593 - 0,620
červená	0,621 - 0,700

Zdroj: Kolář (přednášky)

### 2.2.2 Spektrální příznaky

Než dopadne sluneční záření na zemský povrch, musí prostoupit atmosférou, která hraje neopomenutelnou roli při pořizování družicových snímků. Téměř polovina slunečního záření je pohlcena či absorbována právě při průchodu atmosférou, přičemž jsou zpravidla více rozptýleny vlny krátké oproti vlnám s delší vlnovou délkou. Z toho plyne, že modrá část viditelného spektra je více rozptylována než například část zelená, a proto se nám jeví obloha v barvě modré. Satelitní snímky, které využívají modrou oblast, bývají často mlhavé a bez kontrastů (důvodem je právě rozptyl záření), zatímco snímky pracující s oblastmi delších vlnových délek (například oblast blízkého infračerveného záření) jsou relativně čisté se silnými kontrasty. Obrázek č. 3 charakterizuje spektrální chování základních typů povrchu. Na vlnových délkách 400 – 700 nm dochází k pigmentační absorpci (oblast A), na vlnových délkách 700 – 3000 nm se projevuje odrazivost buněčné struktury (oblast B) a na vlnových délkách 1300 – 3000 nm je přicházející záření absorbováno vodními částicemi (oblast C).

Obrázek č. 3: Spektrální chování povrchu



Zdroj: SCIMUNI

Záření, které nakonec dopadne na objekty nacházející se na zemském povrchu, je jimi značně ovlivňováno. Dle specifických vlastností daných objektů může dojít k absorpci, propuštění či odražení slunečního záření (Obr. č. 4).

Odraz nastává, je-li přicházející záření přeměrováno nepropustným povrchem. V případě hrubého, nerovného povrchu dochází k rozptýlení záření do všech směrů. Tento povrch je nazýván Lambertův. Na hladkém (jinak řečeno zrcadlovém) povrchu je záření odráženo v úhlu, který je shodný s velikostí úhlu dopadu. Při malých úhlech slunečních paprsků, k nimž dochází ve vyšších zeměpisných šířkách během zimy, se jeví i povrch pokrytý vegetací jako zrcadlový.

Absorpce nebo prostup záření je velmi důležitou charakteristikou, neboť se obměňuje s vlnovou délkou. Chlorofyl, který obsahují rostliny v listech, absorbuje z viditelné části spektra zejména záření fialové, modré a červené, odráží naopak zelené. Většina listů propouští více oblast blízkého infračerveného záření než záření viditelné. (Verbyla, 1995)

K pozorování vegetace, respektive zemědělských ploch, je velmi důležité porozumět spektrálním charakteristikám různých přírodních i antropogenních objektů. Následující část se proto podrobněji zabývá spektrálním vztahem vegetace.

Obrázek č. 4: Zobrazení absorpce (A), odrazu (R) a průchodu (T) záření



Zdroj: CCRS

### 2.2.3 Spektrální vztah vegetace v oblastech spektra

#### *Viditelné světlo*

V této oblasti elektromagnetického spektra má vegetace velmi nízkou jak odrazivost, tak i absorpci. Tato skutečnost je zapříčiněna především barvivou, která jsou obsažena v rostlinách a která pohlcují právě viditelné světlo. Mezi nejznámější barviva patří bezpochyby chlorofyl, jenž absorbuje fialové, modré a červené světlo, které využívá jako zdroj energie pro fotosyntézu. Naproti tomu je zelené světlo odráženo, což je důvodem, že se většina rostlin jeví zeleně (Obr. č. 5). Na podzim však dochází k postupnému odbourávání chlorofylu, který je dominantním barvivem během léta, a do popředí se dostávají karotenové a xantofyly. Tato barviva absorbují modré, ale odrážejí spolu se zeleným světlem ještě červené, jejichž kombinací vzniká



barva žlutá. Vlivem barviva anthokyaninu, který je obsažen například v javoru, získává na podzim listí červenou barvu. (Verbyla, 1995)

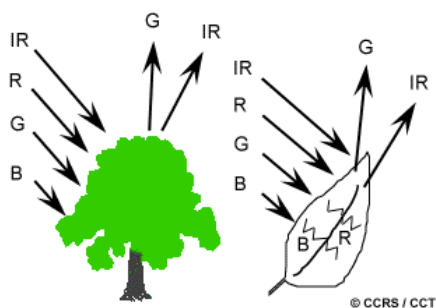
#### *Blízké infračervené*

Oproti předešlé oblasti spektra dochází u rostlin v blízkém infračerveném záření k vysoké odrazivosti, která je často mylně připisována vysokému obsahu chlorofylu v listech. Tuto mylnou myšlenku lze vyvrátit na příkladu zelených a bílých listů pelargonii. Bílá část listů, která postrádá chlorofyl, má téměř stejnou odrazivost jako část zelená. K vysoké odrazivosti v tomto intervalu spektra tedy s největší pravděpodobností přispívají vzduchové bubliny. Z toho plyne, že rostliny mající odlišnou vnitřní strukturu, tvar a orientaci listů lze odlišit za použití právě této části záření. Jelikož se bude měnit s tvarem, strukturou a orientací také odrazivost, můžeme rozlišit například topol od jedle. (Williams, 1991, Verbyla 1995). Čím více je les hustší, snižuje se i odrazivost červeného světla (závisí na zvyšující se absorpci chlorofylu), kdežto odrazivost blízkého infračerveného záření se zvyšuje. Použitím těchto červených/blízkých infračervených indexů lze monitorovat hustotu, ale i kvalitu vegetace. Odrazivost je také větší u širokolistých rostlin, než se vyskytuje u listů trpících nedostatkem vláhy.

#### *Střední infračervené*

Čistá voda absorbuje záření z této oblasti, tudíž s tím přímo souvisí určování obsahu vody v listech (Hunt a Rock, 1989, Cohen, 1991). Podíl středního infračerveného a blízkého infračerveného záření, nazýván jako index vlhkostního stresu, můžeme úspěšně užívat k odhalení poškozených plodin (Vogelmann, 1990).

Obrázek č. 5: Odrazivost elektromagnetického záření u vegetace



Zdroj: CCRS

## 2.3 Družicové systémy

Jak již bylo výše zmíněno, k monitorování Země jsou v současné době jako nosiče používány družice, které obíhají v různých výškách a odlišných drahách nad zemským povrchem. Mezi

dva nejdůležitější typy družicových systémů bezpochyby patří *geostacionární* a *polární* družicový systém.

Družice pohybující se po drahách, které jsou shodné s rovinou rovníku, a ve výšce odpovídající přibližně 36 000 km nad zemským povrchem nazýváme geostacionární. Vzhledem k rychlosti těchto družic, jež je rovna rotaci Země, jeví se pozorovatelům na Zemi na stále stejném místě.

Druhým typem jsou družice nacházející se na drahách v blízkosti pólů, které svírají s rovinou rovníku úhel 80 - 100 stupňů. Rotují ve směru poledníků ve výškách 700 - 1000 km nad zemským povrchem, přičemž doba oběhu je kolem 2 hodin. Tyto družice si udržují stále stejnou polohu vzhledem ke Slunci, proto se nad daným místem vyskytují vždy ve stejnou hodinu místního času.

### 2.3.1 Rozlišovací schopnost

Mezi základní charakteristiky každého snímacího zařízení patří rozlišovací schopnost, která je určena čtyřmi hlavními typy. U prostorové, časové a spektrální rozlišovací schopnosti je potřeba dosažení určitého kompromisu, jehož cílem je poskytnout co nejvhodnější data. Poslední je pak rozlišení radiometrické.

*Prostorová rozlišovací schopnost* udává velikost nejmenšího objektu, který lze na snímku ještě rozpoznat. V digitálním obraze se jedná o velikost obrazového prvku, tedy pixelu. Je-li prostorová rozlišovací schopnost přístroje například 15 m, pak bude mít každý pixel v úplném rozlišení velikost 15 m x 15 m. Čím bude tato rozlišovací schopnost větší, tím více detailů budeme schopni ze snímku rozeznat. Avšak porostou samo sebou i nároky na technické vybavení přístrojů.

*Časová rozlišovací schopnost* je dána dobou, která uplyne mezi dvěma po sobě následujícími přelety družice nad týmž územím. Existuje několik faktorů, které tuto schopnost ovlivňují. Patří mezi ně výška dráhy družice, kdy se s rostoucí vzdáleností od zemského povrchu zkracuje i termínové rozpětí. Dalším faktorem je úhel měření a také zeměpisná šířka. Snímky stejného místa na zemském povrchu pořízené v různých časových obdobích poskytují velmi cenné informace, které hrají nepostradatelnou roli při detekci změn. S užitím těchto multitemporálních dat lze sledovat vývoj oblačnosti, požárů, eroze nebo stav vegetace, což je předmětem této práce.

Šířka intervalu vlnových délek elektromagnetického spektra, ve které zaznamenává senzor elektromagnetické záření, udává *spektrální rozlišovací schopnost*. Ta je také definována počtem spektrálních pásem, které je družice schopna zaznamenat. (Dobrovolný, 1998). Přístroje, které dokážou měřit ve více spektrálních pásmech, poskytují tzv. multispektrální data. Ta se využívají pro určení řady biofyzikálních parametrů jako vodní obsah, množství zelené hmoty atd.

Počet rozlišitelných úrovní signálu, který je dán sensitivitou detektoru, může být přínosem pro identifikaci objektu. Rozsah hodnot je udáván v mocninách dvou, přičemž každá hodnota odpovídá určitému stupni šedi. S rostoucím exponentem se zvyšuje i *radiometrické rozlišení*. 8 bitová data, která disponují 256 stupni šedi ( $2^8$ ), budou bezpochyby kvalitnější než data 4 bitová, kde bude stupňů šedi pouze 16.

### 2.3.2 Přístroje s vysokou časovou rozlišovací schopností

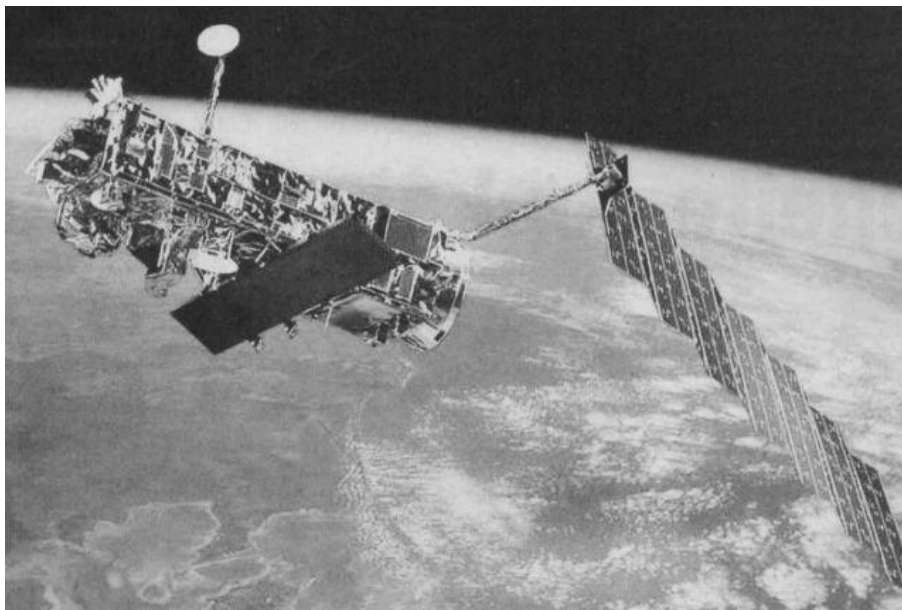
Ačkoli se vědci neustále snaží zdokonalovat pozorovací přístroje za účelem co možná nejkvalitnějších dat, je zatím nezbytné přijímat určité kompromisy a to především v oblasti rozlišovacích schopností. Kombinace rozlišení u zařízení musí být adekvátní požadavkům, která jsou na data kladena. Velmi kvalitní termínové rozlišení (v řádech několika hodin či málo dní) dávají snímky, které mají poskytovat informaci o výskytu bouří, tornád či jiných extrémních situacích. Dále jsou tato data využívána pro synoptickou meteorologii (tj. krátkodobá předpověď počasí), sledování stavu vegetace, popřípadě k odhadu zemědělských výnosů. Obecně je vysoké časové rozlišení vhodné u těch jevů, jejichž vývoj je velmi dynamický. Tato schopnost je však na úkor prostorového rozlišení, které však vzhledem k velikosti oblasti, kde jsou většinou tato data aplikována, nehraje zdaleka tak důležitou roli jako čas.

Přístroje na družici ENVISAT poskytují data s vysokou časovou rozlišovací schopností. Data MERIS a AATSR budou využita pro účely této práce.

### 2.3.3 ENVISAT (Environmental Satellite)

Tento dosud největší evropský satelit nahradil starší satelity ERS 1 a ERS 2, které byly vypuštěny v devadesátých letech minulého století stejně jako ENVISAT Evropskou kosmickou kanceláří (ESA – European Space Agency). Umělá družice ENVISAT (Obr. č. 6) byla na oběžnou dráhu vypuštěna nosnou raketou Ariane 511 (V – 145) z Kourou 1. března 2002. Hlavním cílem je poskytovat měření oceánu, atmosféry, ledu a zemského povrchu. Svou činností přispívá ke komplexnímu studiu prostředí na Zemi jako dynamického celku, především k poznání klimatických změn. Za provoz družice je zodpovědné řídicí středisko ESOC (European Space Operations Centre) umístěné poblíž německého Darmstadtu.

Obrázek č. 6: Družice ENVISAT



*Zdroj: Malá encyklopedie kosmonautiky*

#### **2.3.3.1 Technické parametry**

Družice o délce 10 m se čtvercovým průřezem 2,5 m x 2,5 m váží kolem 8,5 t. Dráha je blízká polární a družice obíhá Zemi ve výšce 800 km nad zemským povrchem. Planetu Zemi oběhne čtrnáctkrát za 24 hodin, přičemž nad stejným místem za stejných podmínek se objeví jednou za 35 dní. Součástí družice ENVISAT je 10 přístrojů, z nichž každý monitoruje odlišný rys životního prostředí Země. Jednotlivé přístroje jsou stručně charakterizovány v Tab. č. 3.

Tabulka č. 3: Charakteristika přístrojů ENVISATU

Označení	Název	Cíl
ASAR	Advanced Synthetic Aperture Radar	Získ snímků pevnin a oceánů s rozlišením menším než 30 m
GMOS	Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars	Měření ozonu a dalších stopových prvků ve výškách 20 - 100 km nad zemským povrchem
MIPAS	Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding	Sledování 20 stopových prvků v atmosféře včetně skupin NO
MERIS	MEDium Resolution Imaging Spectrometer	Monitorování vegetace, oblačnosti a pigmentace oceánů
RA - 2	Radar Altimetr 2	Určení převýšení terénu a povrchu moří s přesností 4 cm (díky dvěma frekvencím, na nichž pracuje 3,2 GHz a 13,57 GHz)
MWR	MircoWave Radiometer	Sledování vlhkosti atmosféry
AATSR	Advanced Along Track Scanning Radiometer	Zjištění povrchové teploty oceánů s přesností na 0,5 K
LRR	Laser Retro - Reflector	Odraz laserových pulzů vyslaných k družici z pozemních stanic, získá aktuální výšky družice
DORIS	Doppler Orbitography and Radio - positioning Integrated by Satellite	přesné určení dráhy družice
SCIAMACHY	SCAning Image Absorption spectroMeter for Atmospheric CartographY	Analýza vyzářeného a rozptýleného záření ze stratosféry a troposféry na 8 frekvenčních kanálech

*Zdroj: ESA*

S ohledem na data, která jsou zpracovávána v této práci, budou další odstavce věnovány podrobnějšímu popisu přístrojů MERIS a AATSR.

### 2.3.3.2 MERIS (MEDium Resolution Imaging Spectrometer)

Původní úkol optického senzoru MERIS se týkal monitorování kvality vod moří a oceánů. Dnešní využití však zasahuje do více oblastí. Vzhledem k vynikající radiometrické rozlišovací schopnosti a době, za kterou je pokryt celý svět (každé 3 dny), řadí se data pořízená tímto senzorem k velmi žádaným při určování množství chlorofylu, vegetačního stresu a určování druhů vegetace. Pět identických kamer zabírá 68,5 ° široké pole, přičemž velikost scény je rovna 1 150 km. Jedná se o multispektrální radiometr, který zaznamenává 15 spektrálních pásem v intervalu vlnových délek 390 nm – 1 040 nm (Tab. č. 4). CCD senzory poskytují snímání napříč dráhou, zatímco pohyb satelitu skenuje podél dráhy. Prostorové rozlišení

dosahuje následujících hodnot: data zobrazující pevninu (tzv. Full Resolution data) nabývají rozlišení 290 m x 260 m, u oceánů (tzv. Reduced Resolution data) 1200 m x 1040 m.

Tabulka č. 4: 15 spektrálních pásem MERISU

Číslo pásma	Délka pásma [nm]	Střed pásma [nm]	Cíl
1	10	412,5	Detekce pigmentů, "Yellow Substance"
2	10	442,5	Maximální absorpce chlorofylu
3	10	490	Detekce chlorofylu a jiných barviv
4	10	510	Detekce sedimentů, "Red Tides"
5	10	560	Minimální absorpce chlorofylu
6	10	620	Detekce sedimentů
7	10	665	Absorpce chlorofylu
8	7,5	681,25	Odrazivost chlorofylu
9	10	708,75	Atmosférické korekce
10	7,5	753,75	Vegetace, oblaka
11	3,75	760,625	Absorpce kyslíku
12	15	778,75	Atmosférické korekce
13	20	865	
14	10	885	Vegetace
15	10	900	Vodní pára

Zdroj: ESA

### 2.3.3.3 AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer)

Zobrazující radiometr, který přijímá vyzařované či odražené záření ve viditelné, infračervené a termální infračervené části spektra (Tab. č. 5), je nejmodernějším produktem Evropské kosmické kanceláře. Byl vyvinut pro měření teploty oceánů, která je stěžejní při sledování klimatických podmínek na Zemi. Odchylna detekce teploty oceánu je rovna 0,5 K. Sekundárně je radiometr využíván pro odhadování rostlinné biomasy, dále k určování vlhkosti, zdraví a růstu vegetace. Přesnost prostorového rozlišení činí 1 km x 1 km při šířce záběru 500 km.

Tabulka č. 5: 7 spektrálních pásem AATSR

Číslo pásma	Délka pásma [nm]	Střed pásma [nm]	Cíl
1	20	555	Odražení chlorofylu
2	20	659	Vegetační index
3	20	865	
4	0,3	161	Oblačnost
5	0,3	370	Detekce teploty oceánů
6	1	1 085	
7	1	1 200	

Zdroj: ESA

## 2.4 Precizní zemědělství a literární rešerše

### 2.4.1 Precizní zemědělství

Tento nový systém v hospodaření je založen na zapojení informačních technologií do zemědělské výroby, což posouvá stávající zemědělství do digitálního věku. Základní myšlenkou celého systému je co nejvíce optimalizovat veškeré produkční vstupy za předpokladu zachování či v lepším případě zvýšení zemědělských výnosů. Dochází tedy k posunu chápání minimální plochy pro agrotechnický zásah od celého pole k jeho jednotlivým částem. Zatímco dříve bylo pole považováno za víceméně uniformní jednotku jak ve vlastnostech, tak i v kvalitě, dnes se již nemusí díky informačním technologiím ignorovat prostorová variabilita specifických vlastností půdy na jednotlivých polích. Na pozemcích se mění například obsah dostupných živin, půdní vláha, textura, obsah organické hmoty a všechny tyto činitele mají vliv na celkový výnos.

Hlavním cílem precizního zemědělství je zlepšit produkci za pomoci cíleného ošetřování plodin dle existujících specifických podmínek odpovídajících daným zónám pole. Na sledovaných zónách by měly být relativně homogenní podmínky pro hospodaření a za použití informačních technologií jsou agronomové schopni získat o těchto zónách maximum informací a následně dle individuálních charakteristik přesně aplikovat výsevky, dávky hnojiv a pesticidů, což ve výsledku přináší ekonomické i environmentální zlepšení.

K určení jednotlivých zón jsou používány dva způsoby. První je založen na tvorbě výnosových map, druhý na vzorkování půdy. Při vzorkování půdy se sleduje obsah organické hmoty v půdě, obsah přístupných živin, pH a struktura půdy, jelikož se právě tyto parametry značně proměňují v jednotlivých částech pole. Z výnosových map pak lze detekovat místa s přibližně stejným výnosovým potenciálem, což může zlepšit výběr plodin. Můžeme je tedy brát jako kontrolní

prvek celého precizního zemědělství. Existuje několik metod, jak výnosové mapy vytvořit. Jednou z nich je sledování zrnového průtokoměru u kombajnů, kdy je výnos měřen zaznamenáváním měření průtoku zrna a pojezdové rychlosti, přičemž pozice je evidována globálním pozičním systémem (GPS). Pro zrychlení se velmi často využívá leteckých, popřípadě družicových multispektrálních snímků, kdy se z odrazu záření usuzuje například obsah vody, chlorofylu a pokrytost listové plochy. Dále se počítá tzv. normalizovaný vegetační index (NDVI), který charakterizuje celkový stav vegetace a využívá se k predikci výnosů. Metody dálkového průzkumu a odběry potřebných půdních vzorků mohou podstatně snížit náklady na hnojení a tím přispějí i k ochraně životního prostředí.

### 2.4.2 Literární rešerše

Aplikací dat dálkového průzkumu pro potřeby zemědělství byla věnována řada studií a odborných článků, jejichž stručná rešerše je předmětem této části práce. Všichni autoři se shodují v základní metodice způsobu získání dat, která se posléze zpracovávají pro potřeby zemědělství. V první řadě by se mělo vždy jednat o práci s multitemporálními a multispektrálními družicovými daty vysokého rozlišení.

Moran et al. (1997) vidí velikou perspektivu v použití multispektrálních dat dálkového průzkumu Země pro precizní zemědělství. Vhodnou oblastí uplatnění je především monitoring sezónních proměnlivosti půdních i rostlinných podmínek, mapování půdních druhů či typů a prognózy úrody. Jako limitní faktor však považuje nedostatečné rozlišení (prostorové i spektrální) a příliš dlouhou dobu mezi pořízením dat a jejich doručením k uživateli (farmáři).

Klasifikací plodin pomocí integrace GIS a DPZ se zabýval Ortiz et al. (1997), který se domníval, že informace o typu pole a poloze budou přínosem k lepšímu rozpoznání tréninkových ploch při klasifikaci družicového snímku. Po multitemporální klasifikaci tedy použil ještě data z pozemního průzkumu v GIS, což následně opravdu znamenalo zvýšení celkové přesnosti klasifikace o několik procent.

Pro Seelana et al. (2003) je hlavním předpokladem úspěšného propojení DPZ se zemědělskou komoditou vysoký počet uživatelů. Zatím se však nepodařilo získat dostatečný počet farmářů, kteří by byli ochotni zapojit do svého systému hospodaření nové technologie jako je DPZ. Jako hlavní důvod této neochoty přičítá nedostatečnému informování farmářů o užitečnosti, či dostupnosti interpretace snímků, ani o jejich ekonomickém významu.



## KAPITOLA 3

### Použitá data a metodika práce

#### 3.1 Použitá družicová data

Jak je patrné ze zadání práce, data použitá pro tuto práci jsou z družice ENVISAT, konkrétně pořízená spektrometrem MERIS. Jeho podrobnější charakteristika byla uvedena již výše. Hodnocení využitelnosti snímků MERIS pro potřeby zemědělství bylo prováděno na snímcích z roku 2009, tudíž bylo třeba hledat archivní snímky. Vhodné snímky byly vybrány pomocí aplikace EOLi, což je katalog Evropské kosmické agentury, který umožňuje hledat a následně nahlížet na data pořízená družicemi různých typů. Díky tomuto katalogu, který je volně ke stažení na stránkách ESA, jsme schopni vybrat si co možná nejvhodnější data, která pokrývají sledovanou oblast a zároveň se nad touto oblastí vyskytuje co možná nejmenší množství oblačnosti. Z tohoto katalogu jsem vybrala snímky, které zachycovaly Českou republiku, 2. dubna, 3. května, 26. května, 14. června, 16. července, 1. a 20. srpna, 8. a 27. září roku 2009. Výběr se zaměřil na snímky pořízené v době, kdy se na zemědělských pozemcích objevují plodiny. Zároveň se jedná o snímky, na nichž byla pozorována minimální oblačnost. Po detailnějším průzkumu byly však vynechány také snímky z 16. 7 a 20. 8., neboť se ukázalo, že v této době panovala nad sledovaným územím oblačnost, která při základních vizualizacích nebyla výrazná. Výsledné křivky spektrální odrazivosti by byly i touto nepřítelnou výraznou oblačností ovlivněny.

Ke stažení snímků jsem využila servis SOSI (Spatial Observation Services and Infrastructure), který poskytuje jak prohlížení, tak i stahování snímků MERIS nad Českou republikou. Funkčnost zmiňovaného servisu zajišťuje firma Gisat. Servis SOSI je umístěn na <http://services.eoportal.org/portal/service/ShowServiceInfo.do?serviceId=94813C82>.

Družicové snímky pořízené přístrojem AATSR nebyly nakonec zahrnuty do zkoumání. Hlavním důvodem tohoto rozhodnutí je především nevhodná prostorová rozlišovací schopnost zmiňovaného přístroje pro účely této práce.

Ke zpracování družicových snímků byl použit program BEAM 4.7, který je volně ke stažení na internetových stránkách ESA.

## **3.2 Výběr zemědělských ploch**

Původním záměrem této práce bylo monitorování zemědělských pozemků Farmy Semice Ing. Jana Procházky v okrese Nymburk za účelem tvorby výnosových map pro precizní zemědělství. Farma Semice sice obhospodařuje přes 160 ha orné půdy, ovšem po detailnějším průzkumu osevních postupů se ukázalo, že plochy oseté jedním typem plodiny velikostně nevyhovují prostorovému rozlišení spektrometru MERIS. Proto byly vybrány jiné vhodné zemědělské plochy.

Sledované zemědělské plochy se nachází ve Středočeském a Ústeckém kraji České republiky v České tabuli a v blízkosti řeky Labe. Jedná se o oblasti, které nepřesahují nadmořskou výšku 300 m n. m. a ve kterých se vyskytují velmi úrodné černozemě, hnědozemě a kambizemě. Tyto oblasti představují i díky panujícímu teplému podnebí jedny z nejúrodnějších částí České republiky. Zdejší krajina je proto hojně zemědělsky využívána. Byly vybrány plochy, za které se podařilo získat údaje o pěstovaných plodinách ve sledovaném roce a zároveň velikost těchto ploch dosahovala větších rozměrů, než je prostorové rozlišení spektrometru MERIS. Nejmenší území se stejným typem plodiny mělo rozměr 350 m x 490 m, největší pak 750 m x 1600 m. Na základě vlastní znalosti terénu jsem vybrala plochy, na kterých se opakuje pěstování plodin po několik let (tj.: ovocné sady, vinice a chmel jako plodiny s dlouhodobě stálým místem kultivace) a plochy, na nichž se osev plodin rok od roku mění (řepka olejka, obilí a trvalé travní porosty). Jednotlivé pozemky byly zaměřeny pomocí turistického GPS přístroje, díky němuž byly získány zeměpisné souřadnice okrajových bodů polí, které byly následně hlavním vodítkem při určování polohy daných zemědělských ploch na družicových snímcích.

Překážkou pro podložení osevních postupů v roce 2009 byla často nevstřícnost jednotlivých farmářů. Dle mé vlastní zkušenosti oficiálně nahlášené osevní postupy farmáři často porušují a při rozhovoru se obávají sdělovat tyto informace. Proto je možné vycházet pouze z vlastního terénního průzkumu, který byl založen na základě vlastního pozorování a rozhovorech s lidmi bydlící v okolí sledovaných ploch.

Celkem bylo vybráno šest odlišných zemědělských plodin (ovocné sady, vinice, obilí, trvalé travní porosty, řepka olejka a chmel), jejichž vlastnosti byly zkoumány vždy na pěti samostatných polích.

### 3.3 Úprava snímků

Vzhledem k velikosti scény u spektrometru MERIS, která činí 1 150 km, byl vytvořen kvůli snadnější manipulaci se snímky výřez. Tato operace byla provedena pomocí nástroje *Spatial Subset from View*, kde bylo vybráno zájmové území, v našem případě Česko. Jednotlivé výřezy bylo třeba uložit. Veškeré následující úpravy vycházejí právě z vytvořených výřezů. Aby byly ze snímků odstraněny chyby vzniklé při jejich pořizování, bylo potřeba provést řadu úprav. První korekci, která byla vytvořena, je tzv. „SMILE“ korekce. Jejím cílem je odstranit nepatrné nepřesnosti vzniklé při snímání CCD senzorů. Ty provádí spektrální měření každého pixelu podél řádky obrazu, což způsobuje malé změny ve spektrální vlnové délce jednotlivých pixelů. Toto je nazýváno „smile efektem“, který může zapříčinit nepřesnosti v dalších produktech. Použitím *SMILE Correction Processor* docílíme opravy hodnot radiance u produktů ENVISAT MERIS L1b. Po odstranění nepřesností vzniklých nedokonalostmi přístroje bylo ještě potřeba co nejvíce eliminovat chyby, které jsou způsobeny prostředím, kterým záření prochází. Jak již bylo zmíněno výše, musí veškeré záření, které dopadá na zemský povrch, projít nejprve atmosférou. Vzhledem k tomu, že je atmosféra plná různorodých částic, výrazně ovlivňuje jak dopadající, tak i odrážející se záření. Je tedy nutné provést atmosférické korekce na všech snímcích, které již byly upraveny procesorem *SMILE Correction*. Program BEAM má ve své nabídce nástrojů k tomuto účelu *SMAC Processor* (Simplified Method for Atmospheric Correction), jehož hlavním úkolem je vytvořit atmosférické korekce satelitních snímků v solárním spektru. Technika je založena na sadě rovnic s koeficienty, kterými jsou obsah plynů, geometrické podmínky, odrazivost na vrcholu atmosféry a aerosolová optická hloubka v 550 nm. Aerosolová optická hloubka je veličina, pomocí které jsme schopni změřit utlumení slunečního záření kvůli jeho rozptylu a absorpci na aerosolech<sup>2</sup> mezi místem pozorování a vrcholem atmosféry. Vzhledem k tomu, že množství aerosolů v atmosféře se mění jednak s místem, ale i s časem, bylo nutné pro každý snímek zadávat odlišnou aerosolovou optickou hloubku, která byla zjištěna skrze webovou aplikaci americké vládní agentury NASA (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>). Zde bylo vybráno území a posléze čas (totožný s datem pořízení daného snímku), za který hodnoty AOD požadujeme. Takto zjištěné hodnoty pak byly použity při SMAC korekci. Nespornou výhodou této metody atmosférické korekce je její rychlost, která umožňuje korekce velkého množství dat, a také fakt, že nevyžaduje předem vypočítané look-up tables (kódovací tabulky, které přiřazují naměřeným hodnotám hodnoty v rozsahu barev dle bitové hloubky). Vzhledem k časovým limitům a dosavadním poznatkům, byl využit tento způsob atmosférické korekce snímků.

---

<sup>2</sup> aerosol je definován jako heterogenní směs malých částic (pevných nebo kapalných) v plynu

### 3.4 Ortorektifikace

Ke geometrické korekci získaného produktu jsem využila v programu BEAM funkci *Orthorectification*. Ortorektifikací rozumíme převod družicových (popřípadě leteckých) snímků do zvoleného mapového zobrazení, v tomto případě UTM (Univerzální transversální Mercatorovo) zobrazení. Jako zdroj nadmořských výšek byl použit digitální model terénu, který je složen z dostupných čtyř souborů dat digitálního modelu terénu (SRTM30, ACE, Mean Sea Surface a EGM96 elipsoid). Pro všechny snímky byl zvolen souřadnicový systém WGS 84, který je rovněž využíván přístroji GPS, pomocí nichž bylo prováděno terénní měření. Tato transformace je nutnou podmínkou ke zhodnocení spektrálních vlastností zemědělských ploch. Úspěšné transformování všech obrazů bylo zkontrolováno jejich vzájemným překrytím a zjištěním polohy řeky Labe.

### 3.5 Vymezení pixelů na družicových snímcích

Po úspěšné ortorektifikaci následovalo vytyčení sledovaných zemědělských ploch na snímku. Toho bylo dosaženo pomocí tzv. *pins*, kterým byly při tvorbě definovány zeměpisné souřadnice zjištěné při terénním měření. Tyto nově vytvořené body nyní reprezentovaly jednotlivé zemědělské pozemky. Celkem bylo sledováno šest odlišných plodin (ovocné sady, vinice, chmel, řepka olejka, obilí a trvalé travní porosty), přičemž každá byla reprezentována na pěti nesousedících zemědělských plochách. Ve výsledku tedy bylo zaneseno 30 bodů, které zastupovaly jednotlivé zemědělské plochy vhodné ke studiu spektrálních i kvalitativních vlastností pěstovaných rostlin.

### 3.6 Tvorba spektrálních křivek

Po předešlých úpravách je snímek připraven ke studiu spektrálních křivek zvolených plodin za dané časové období. Na základě hodnocení každého snímku byly vytvořeny nástrojem *Spectrum view* spektrální křivky odrazivosti, které se vypočítávaly ze zvolených spektrálních pásem. K tomuto účelu byla vybrána pásma po atmosférických korekcích. Poněvadž dochází u pásma číslo 11 (760,625 nm) k vysoké absorpci kyslíku a pásmo číslo 15 (900 nm) slouží především k detekci vodní páry, nebyla tato pásma do výpočtu odrazivosti zahrnuta. Ostatní pásma byla využita. Poté byl proveden export dat do textového souboru, který byl následně upravován v programu Excel. Grafy, které jsou uvedeny v nadcházející kapitole, byly vytvořeny na základě průměrných hodnot. Ty byly zjištěny pro každou plodinu z pěti vzorkových polí, na kterých se daná rostlina vyskytovala. Tento způsob šetření poskytuje, dle mého názoru,

reprezentativní výsledky. Z takto získaných výsledků lze vyvozovat závěry vhodné například pro klasifikaci půdního fondu z družicových snímků.

### 3.7 Spektrální indexy

Ke zvýraznění určitých složek v obraze lze použít tzv. *spektrální indexy*, což jsou poměrně snadné aritmetické operace se dvěma nebo více pásmy multispektrálního obrazu. Jelikož je hlavním bodem zájmu této práce vegetace na zemědělských plochách, budou nás zajímat především vegetační indexy. V současné době existuje řada algoritmů pro výpočet vegetačních indexů. V této práci byl použit Normalized Difference Vegetation Index (dále jen NDVI), který vychází z rozdílu hodnot odrazivosti v intervalu červené (RED) části viditelného spektra a v blízké infračervené (NIR) oblasti spektra :

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Tento vegetační index může nabývat hodnot od -1 do + 1 a je vhodným spektrálním indexem ke studiu zdravotního stavu vegetace nebo odhadům zemědělských výnosů, protože jeho hodnoty korelují s obsahem zelené hmoty na ploše pixelu. Čím vyšší budou hodnoty NDVI, tím bude vegetace hustší, neboť díky většímu zastoupení chlorofylu se zvýší absorpce záření v oblasti červené části spektra (tím výrazně poklesne odrazivost). Zároveň se však významně navýší odrazivost v oblasti blízkého infračerveného spektra. Na snímku budou oblasti s nejhustším zastoupením vegetace zobrazeny nejsvětlejšími odstíny, zatímco oblasti s minimem vegetace budou mít na stupnici šedi nejtmaší odstín.

K tvorbě tohoto vegetačního indexu slouží v programu BEAM jednoduchý nástroj *NDVI Processor*, který počítá rovněž s červeným a blízkým infračerveným zářením. U produktů MERIS byla vybrána pásma 6 (620 nm) a 10 (753,75 nm). NDVI byl počítán pomocí tohoto vztahu:

$$NDVI = (IR\_factor * radiance_{10} - red\_factor * radiance_6) / (IR\_factor * radiance_{10} + red\_factor * radiance_6).$$

Po vytvoření vegetačních indexů NDVI byl použit nástroj „Create Band by Band Maths“. Ten umožňuje vytvářet v produktech nová pásma odvozením z definovaných výpočtů.

Jednotlivé vegetační indexy byly sledovány na 30 místech snímků z 2. dubna, 3. a 26. května a 14. června. Tyto snímky byly vybrány z důvodu možnosti monitorování změn NDVI v průběhu vegetačního vývoje rostlin. Každý typ zkoumané plodiny byl hodnocen pomocí NDVI na pěti polích. Takto zjištěné hodnoty byly zprůměrovány za účelem odstranění výrazné odchylky.

Typické hodnoty vegetace prezentuje tabulka 6.

Tabulka č. 6: Typické hodnoty NDVI

<b>Druh povrchu</b>	<b>Hodnota NDVI</b>
Velmi hustá vegetace	0.500
Středně hustá vegetace	0.140
Řídká vegetace	0.090
Holá půda	0.025
Oblačnost	0.002
Sníh a led	-0.046
Voda	-0.257

*Zdroj: Williams, 1995*

V následující kapitole jsou shrnuty výsledky spektrální odrazivosti zemědělských plodin a hodnoty NDVI za sledované období.

## KAPITOLA 4

### Výsledky

Křivky spektrální odrazivosti jednotlivých plodin jsou zobrazeny pomocí grafů. Výsledné hodnoty odrazivosti jsou průměrem z pěti pozorování dané rostliny na odlišných polích. Lze tedy tyto křivky podle mého názoru pokládat za reprezentativní, neboť byly jednotlivé plodiny zkoumány na více místech, tudíž výsledné křivky by neměly být modifikovány specifickými vlastnosti jednotlivých polí. Osa x představuje vlnové délky pásem elektromagnetického záření v nm. Na ose y je pak zaznamenána výše spektrální odrazivosti jednotlivých kultur.

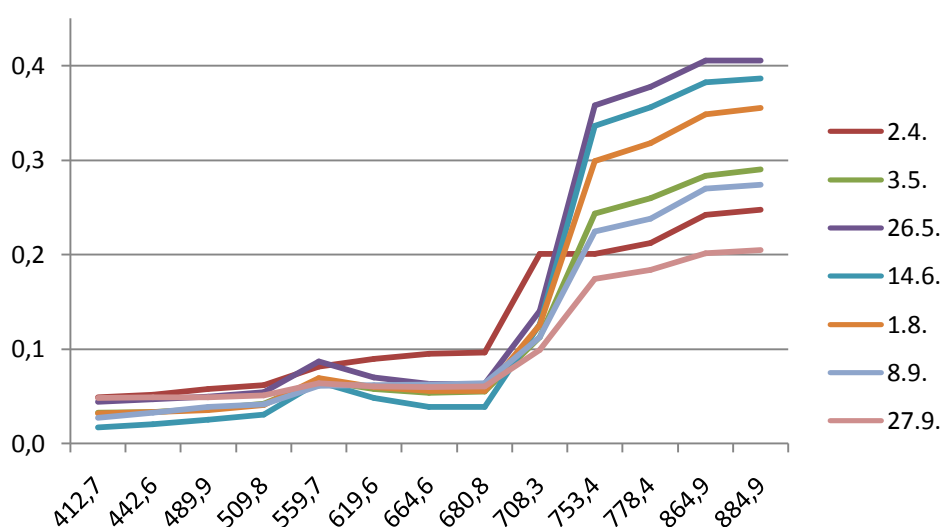
Zemědělství představuje komoditu, která je velkou měrou závislá na přírodních podmínkách. Proto byly v této práci monitorovány zemědělské pozemky nacházející se v úrodné oblasti České tabule. Tato skutečnost s sebou přináší řadu výhod. Zemědělské pozemky jsou situovány v přibližně stejných nadmořských výškách v totožné podnebné oblasti, kde jsou srážkové úhrny pro všechna pole téměř shodné. Všechny jmenované faktory ovlivňují spektrální křivku odrazivosti, proto je výhodné, jsou-li odlišnosti u těchto faktorů co možná nejmenší.

#### *Ovocné sady*

Spektrální chování této plodiny je zobrazeno na grafu 1, ze kterého je patrné, že na počátku dubna ještě neměly ovocné stromy téměř žádné listy, neboť spektrální křivka pro toto období dosahuje relativně vysokých hodnot na vlnových délkách 412,7–509,7 nm a 619,6–664, 6 nm, na kterých je jinak záření absorbováno chlorofylem, který je přítomný právě v listech rostliny. Dalším důkazem malého množství listů počátkem dubna je i nízká odrazivost na vlnových délkách kolem 753, 4 nm, pro které je typická maximální odrazivost záření způsobená barvivou chlorofylu. Data ze snímku pořízeného začátkem května již odráží větší množství listů, což je nejlépe pozorovatelné na vlnových délkách od 753, 4 nm. Maximální odrazivosti elektromagnetického záření je u ovocných stromů dosaženo během vrcholu jejich vegetačního růstu, který připadá na období od konce května do srpna. Právě v této době jsou stromy obaleny největším počtem listů s vysokým obsahem chlorofylu. To lze dobře pozorovat na vysoké odrazivosti na vlnových délkách pohybujících se mezi 509, 7 až 559, 7 nm, což je oblast zelené

části viditelného spektra. Dále můžeme tuto hypotézu potvrdit na vlnových délkách červené oblasti viditelného spektra (680, 8 – 708, 3 nm), kdy je patrná velmi vysoká absorpce záření způsobená rovněž chlorofylem. Ve škále od 753, 4 nm dochází v tomto období k maximální odrazivosti elektromagnetického záření, které můžeme hlavně připsat buněčné struktuře listů. S přibývajícím časem se pozvolna hodnoty odrazivosti snižují. K nejmenší odrazivosti pak dochází na konci září, kdy listy ovocných stromů začínají opadat. S ohledem na vegetační období ovocných stromů, můžeme zaznamenat největší odrazivost ke konci května, kdy jsou ovocné stromy obaleny mladými listy s vysokým obsahem chlorofylu. S přibývajícím časem se pozvolna odrazivost snižuje.

Graf č. 1: Vývoj spektrální odrazivosti ovocných sadů



Zdroj: data MERIS a vlastní výpočty

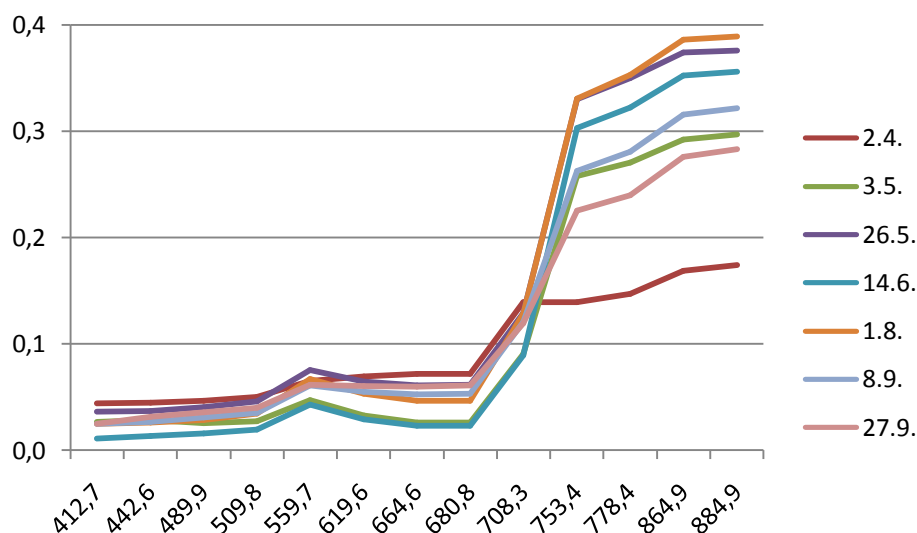
#### Vinice

Vývoj spektrální odrazivosti této kultury je charakterizován grafem 2. Snímek z počátku dubna naznačuje, že spektrální křivka vinic je téměř identická se spektrální křivkou odrazivosti u holé půdy. Vliv rozvoje této rostliny byl potvrzen na snímku z počátku května, na kterém je detekováno zvýšení odrazivosti na vlnových délkách od 509, 7 do 559, 7 nm, což odpovídá zelené oblasti viditelného spektra. Nejvyšší hodnoty odrazivosti na jmenovaných vlnových délkách byly pozorovány na konci května, kdy jsou listy široké a mladé s vysokým obsahem chlorofylu. Jasný zlom v odrazivosti je patrný na vlnové délce 665 nm. S přibývajícím vlnovou délkou dochází k prudkému nárůstu v odrazivosti, přičemž vrchol nastává v této oblasti spektra počátkem srpna a postupem času začíná odrazivost opět slábnout. Nejnižších hodnot odrazivosti v části elektromagnetického záření s vlnovou délkou větší než 753, 4 nm nabývá vinná réva na konci září, což můžeme vysvětlit stavem plodiny, která se nachází několik dní před sklizní,



tudíž mají na odrazivost vliv jiná barviva vstupující do popředí i plody, jež jsou součástí rostliny. Tato domněnka je zároveň potvrzena při pohledu na oblast vlnových délek od 560 do 665 nm, na kterých lze vidět zvýšenou odrazivost. Výsledkem je pak zeleno-žluto-oranžové zbarvení listů.

Graf č. 2: Vývoj spektrální odrazivost vinic



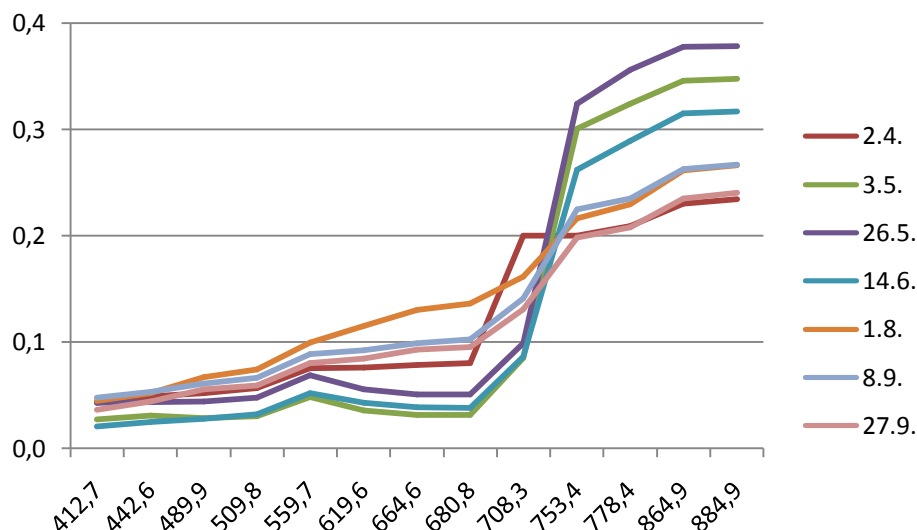
Zdroj: data MERIS a vlastní výpočty

## Obilí

Velmi zajímavé výsledky přineslo pozorování obilných polí, jejichž vegetační cyklus je reprezentován grafem 3. Drobné zelené rostlinky jsou odhaleny spektrometrem MERIS již na prvním snímku z 2. dubna, kdy lze pozorovat zvýšenou odrazivost záření na vlnové délce 510 nm, která odpovídá zelenému zbarvení. Během měsíců května a června dosahovaly spektrální křivky odrazivosti hodnot, které jsou typické pro hustou, zelenou vegetaci. Relativně nízká odrazivost na vlnových délkách 412, 7 – 510 nm je důsledkem vysokého obsahu chlorofylu v rostlině, který na těchto vlnových délkách přicházející záření absorbuje. Výjimkou jsou vlnové délky odpovídající zelené barvě viditelného spektra, což je rovněž znatelné i na průběhu spektrálních křivek. Na snímku ze 14. června se rostliny obilí začaly měnit, čemuž odpovídá i spektrální křivka. Bohužel není k dispozici žádný kvalitní snímek z doby mezi 14. červnem a 1. srpem, abychom mohli detailněji zkoumat vývoj spektrální křivky v závislosti na dozrávání této plodiny. Nejzajímavějších výsledků dosahuje křivka na počátku srpna. Zaměříme-li se v této době na vlnové délky 540 – 680 nm, můžeme zde pozorovat kontinuální nárůst křivky a zároveň nejvyšší odrazivost ve sledovaném období. Tato oblast elektromagnetického spektra odpovídá ve viditelné oblasti barvě žluté, oranžové a červené. Složením odrazivosti těchto barev získáme barvu zlato-hnědou, která je charakteristická pro

fenologickou fází, ve které se obilí počátkem srpna nachází. Počátkem září, kdy je již obilí zralé, má tato plodina barvu spíše hnědavou. To potvrzuje i spektrální křivka, která se značně podobá na nižších hodnotách vlnových délek odrazivosti holé půdy, ovšem na vlnových délkách od 753,4 nm je identická s křivkou odrazivosti z 1. srpna. Poslední snímek zachycuje všechna pole bez přítomnosti obilí, které je už sklizené. Spektrální křivka z tohoto data naznačuje, že jsou pole znovu oseta (pravděpodobně řepkou olejku).

Graf č. 3: Vývoj spektrální odrazivosti obilí



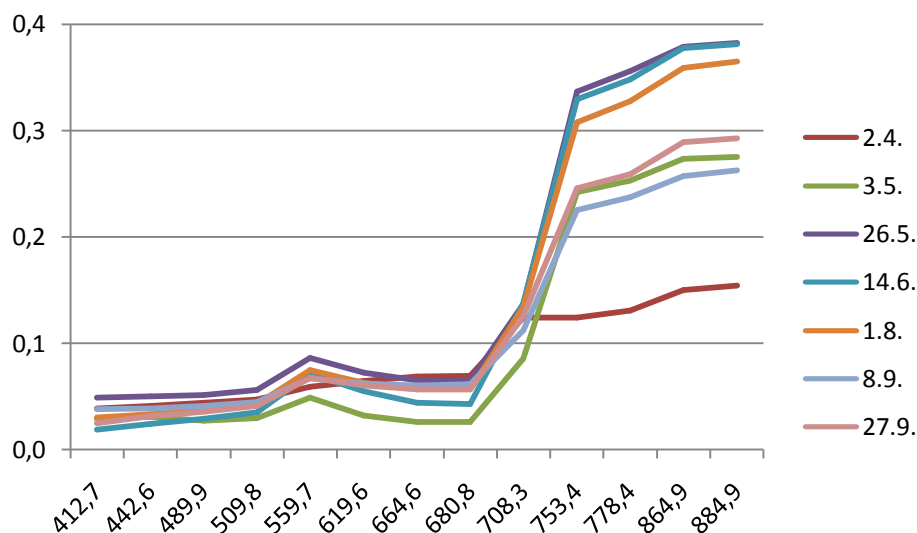
Zdroj: data MERIS a vlastní výpočty

#### Trvalé travní porosty

V průběhu vývoje travních porostů dochází k relativně mírnému vývoji spektrálních křivek (Graf č. 4). Jejich průběh v pásmech pokrývajících vlnové délky 412, 7 – 680 nm je během celého vegetačního období poměrně vyrovnaný. Zřetelná je přítomnost barviva chlorofylu, jehož vlastnosti jsou příčinou zvýšené odrazivosti v oblasti zeleného viditelného záření. Dále můžeme rozdělit chování travnatých rostlin do dvou skupin, které se liší odrazivostí v oblasti blízkého infračerveného záření. Travnaté porosty snímávané spektrometrem MERIS od konce května do počátku srpna vykazují vysoké hodnoty odrazivosti právě v této části záření. Tato skutečnost je odrazem růstu travin na sledovaných plochách a tedy rozvojem biomasy. Rostliny v tomto ročním období dosahují svého plného vývoje, porost je tedy velmi hustý. Na snímcích z 3. května a ze září je elektromagnetické záření větších vlnových délek odráženo o něco méně, než tomu bylo během vrcholného vegetačního období. Téměř identické křivky v této oblasti záření z konce září a počátku května, lze zdůvodnit velmi řídkými a nevyvinutými (odumírajícími) travními porosty. Menší odrazivost na počátku září než na jeho konci můžeme být způsobena posledním posečením právě počátkem září před nastávající zimou. Snímek

pořízený na začátku dubna zachycuje spektrální křivku velice odlišnou od ostatních. S velkou pravděpodobností se bude jednat o znak ranného stádia travin. Odlišnost je ovšem tak výrazná, že může mít i jinou příčinu.

Graf č. 4: Vývoj spektrální odrazivosti trvalých travních porostů



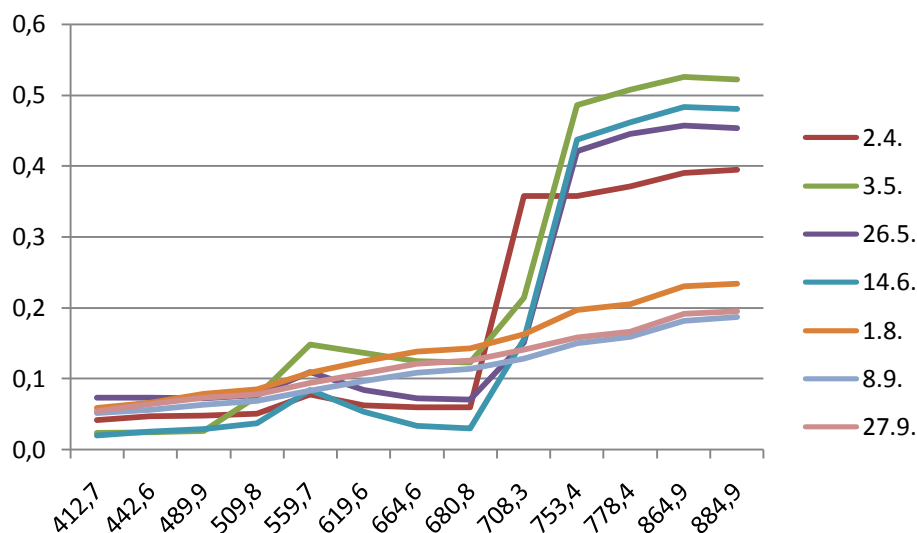
Zdroj: data MERIS a vlastní výpočty

#### Řepka olejka

Díky počasí, které panovalo nad Českem v měsíci březnu roku 2009, bylo už počátkem dubna možné rozeznat zelené rostliny řepky olejky (Graf č. 5) na všech monitorovaných polích. Jasným důkazem je jak spektrální křivka odrazivosti, tak i samotný pohled na družicový snímek. Velmi specifickým prvkem této brukvovité plodiny jsou její výrazně žluté květy. Kvetení porostu trvá kolem 20 dnů (Agritec, 2008), což dokazuje i spektrální křivka. Počátkem května je zaznamenána velmi vysoká odrazivost na 560 - 620 nm. Tento vrchol odpovídá cca žluté barvě ve viditelném spektru, která je typická právě pro květy řepky olejky. Jelikož má tato rostlina na svůj vzrůst i dostatečně široké zelené listy, odráží i značné množství záření blízkého infračerveného. Po uplynulých 20 dnech již mohou pole ztrácet své typicky žluté zbarvení a krajina s řepkovými poli začne mít zelené zbarvení. Snímek pořízený po 23 dnech potvrzuje značný úbytek žlutých květů. Křivka ve viditelném spektru má v tomto období tvar charakterizující zelený porost, který odráží nejvíce záření na 550 nm. Na snímku ze 14. června se již pole jeví zcela zeleně, nejsou zde patrné žádné zbytky po žlutých květech. Důkazem je tvar spektrální křivky odrazivosti, jenž podléhá vlastnostem zelené vegetace. Následující družicové snímky zachycují dobu od počátku srpna do konce září. V této době je již řepka sklizena, tudíž spektrální křivky odrazivosti jsou pro všechny tři snímky téměř homogenní. Často se stává, že pole, na kterých došlo ke sklizni řepky olejné, jsou oseta znovu. Nejčastěji

krmnými plodinami, které mají krátké vegetační období a stihnou tak ještě dozrát před přicházející zimou. Další alternativou je zasetí obilovin, neboť řepka je výbornou předplodinou právě pro obiloviny (Agritec, 2008). Tyto spektrální křivky budou pravděpodobně reprezentovat holou půdu nebo půdu osetou již zmiňovanými obilovinami, protože není patrný jakýkoli růst zelené vegetace, který by odpovídal krmným plodinám.

Graf č. 5: Vývoj spektrální odrazivosti řepky olejky



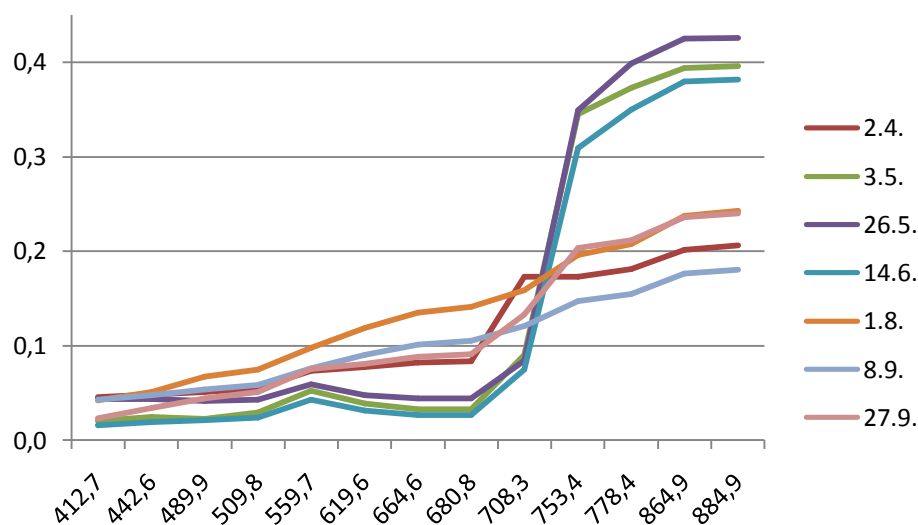
Zdroj: data MERIS a vlastní výpočty

### Chmel

Tato plodina byla monitorována v jedné z hlavních chmelařských oblastí České republiky, a to v oblasti Ústecké. Počátkem dubna probíhají obvykle ještě přípravné práce jako je oprava konstrukcí či instalace vodících drátků, chmel však v této době zatím není na chmelnicích příliš vidět. To potvrzuje i spektrální křivka z počátku dubna. Začátek května je ideální dobou pro zavádění chmelových rév na chmelovodiče (Svaz pěstitelů chmele České republiky, 2010). V této době je i na Grafu č. 6 znatelná přítomnost zelené rostliny. Vegetativní vývoj sledované plodiny je možný sledovat zhruba do poloviny srpna, kdy obvykle nastává sběr. Z důvodu nemožnosti využití snímku z 20. 8. kvůli vysoké oblačnosti, není možné pozorovat změny probíhající na chmelnicích. K minimálním rozdílům v odrazivosti elektromagnetického záření dochází na snímcích pořízených 3. 5., 26. 5. a 14. 6., což bychom mohli zdůvodnit přítomností velmi širokých zelených listů. Proto křivky dosahují vysokých hodnot v odrazivosti v oblasti blízkého infračerveného záření. Zarážející je průběh křivky počátkem srpna, kdy odrazivost kontinuálně roste s vlnovou délkou. Podobnou křivku vykazuje také snímek z počátku září. V tomto čase by se dala odrazivost vysvětlit stavem po sklizni chmele. V měsíci září je všechn chmel sesbírán, čemuž odpovídají i spektrální křivky. Zvýšenou odrazivost na snímku z 27. 9.

lze patrně přičítat přítomností různých typů plevelů, které se mohou objevit na poli. Příčina však může být i jiná.

Graf č. 6: Vývoj spektrální odrazivost chmelu



Zdroj: data MERIS a vlastní výpočty

#### NDVI

Ke studiu kvalitativní stránky zemědělských ploch byl použit vegetační index NDVI, který nabývá hodnot od -1 do +1.

Celkové výsledky hodnot NDVI pro vybrané plodiny poskytuje tabulka 7.

Tabulka č. 7: Hodnoty NDVI jednotlivých plodin

	2. 4.	3. 5.	26. 5.	14. 6.
<b>ovocné sady</b>	0.1961	0.4314	0.4980	0.5765
<b>vinice</b>	0.1176	0.5725	0.4863	0.6275
<b>obilí</b>	0.2431	0.6039	0.5137	0.5207
<b>TTP</b>	0.0902	0.5529	0.4667	0.5412
<b>řepka</b>	0.5255	0.4431	0.5098	0.6353
<b>chmel</b>	0.1765	0.6314	0.5686	0.6235

Zdroj: data MERIS a vlastní výpočty

U ovocných sadů potvrzují naměřené hodnoty NDVI naprostou závislost na vegetačním vývoji této plodiny. Počátkem dubna vykazovaly spektrální křivky u ovocných stromů jen nepatrné množství zelených listů, to samé vyplývá i z výsledků vegetačního indexu NDVI. Postupem času, jak plodiny dostávají do plného vývoje, narůstají i hodnoty NDVI. Velmi hustá vegetace byla detekována počátkem května na vinicích, obilných polích, trvalých travních porostů a na chmelnicích. Koncem května už byla velmi hustě vyvinuta veškerá sledovaná vegetace,

jejíž hustota vrcholila v polovině června. Počátkem dubna dosahovala vysokých hodnot NDVI pouze řepka, která byla již v této době díky relativně teplému březnu dostatečně vyvinuta. Ostatní plodiny bychom mohli spíše zařadit do kategorie řidší husté vegetace. Těžko vysvětlitelná je velmi nízká hodnota NDVI na počátku měsíce dubna. Celkově lze však konstatovat, že hodnoty NDVI tak v mnoha případech korespondují s výsledky spektrální křivky odrazivosti.

## KAPITOLA 5

### Diskuze a závěr

#### 5.1 Diskuze

Jelikož byly plochy sledovány v úrodné oblasti České tabule, nemusejí výsledky získané při sledování spektrální křivek a hodnot vegetačních indexů platit pro ostatní oblasti České republiky. K tomu, aby mohly být závěry této práce zobecněny pro širší oblast, bylo by potřeba provést průzkum jednotlivých plodin na různých místech České republiky. To by přinášelo více vzorků spektrálního chování jednotlivých kultur, které by podléhaly rozdílným nadmořským výškám i odlišným podnebným oblastem. Tyto přírodní podmínky by s sebou nesly větší rozdílnosti jak v době sadby a následné sklizně, tak i v jiných způsobech setí. Na polích by tak docházelo mnohem častěji k odlišným šířkám řádků, směrům v setí i v rozestupu rostlin, což má rovněž nezanedbatelný vliv na spektrální chování i hodnoty vegetačních indexů u porostu. Pokud bychom se rozhodli pro takto rozsáhlý průzkum zemědělského půdního fondu, museli bychom odstranit problémy se získáváním osevních postupů od farmářů. Vzhledem k tomu, že bychom pravděpodobně z časových důvodů nezvládli provádět sami terénní průzkum jednotlivých polí po celé České republice, byli bychom s největší pravděpodobností nuceni pracovat s daty buď jednotlivých farmářů, nebo s daty, které jsou poskytovány státem. V tomto případě bychom museli při tvorbě jakýchkoli závěrů brát v úvahu skutečnost, že se na jednotlivých polích může nacházet jiná plodina, než je uváděno.

Družicová data vysokého časového rozlišení, která byla vybrána ke studiu spektrálních a kvalitativních vlastností určitých typů zemědělských plodin, se ukázala jako výborný prostředek k tomuto zkoumání. Charakteristiky zemědělských produktů se mění především během vegetačního období, které u některých plodin připadá na pouhé 3 měsíce v roce. Dynamický vývoj zemědělských plodin v průběhu roku je hlavní příčinou, proč je k jejich detekci důležité použití družicových dat vysokého časového rozlišení. Jelikož však v České republice hospodářství velké množství farmářů na relativně malých plochách, bylo by pro tuto práci přínosnější hodnocení dat vysokého rozlišení jak časového, tak i prostorového. Výsledky

by pak mohly být použity k detailní klasifikaci zemědělského půdního fondu nebo k tvorbě výnosových map, které by mohly pomoci s rozšířením precizního zemědělství v České republice. Pokud by byli místní zemědělci srozuměni se vzniklými výnosovými mapami a začali by posléze používat systém precizního zemědělství, zlepšily by se jak výnosy, tak i dopad zemědělství na životní prostředí. Hlavním důvodem nízkého počtu farmářů, kteří využívají data DPZ v precizním zemědělství, je připisován především nízké informovanosti o výhodách těchto dat.

## 5.2 Závěr

Zhodnocení potenciálního využití družicových dat MERIS z družice ENVISAT pro účely zemědělství bylo provedeno dvěma způsoby. V prvním způsobu bylo sledováno spektrální chování vybraných zemědělských plodin, jehož znalosti mohou pomoci k přesnější klasifikaci zemědělského půdního fondu a odhadu výnosů na něm. Byly analyzovány spektrální charakteristiky sledovaných plodin v průběhu roku 2009 a v mnoha případech se prokázaly významné rozdíly, dané odlišným vegetačním vývojem zemědělských plodin. Zajímavé je například srovnání vývoje odrazivosti řepky olejky a obilí či charakteristický vývoj vinic. Dalším způsobem, jak se dozvědět informace o zemědělských plodinách, je použití vegetačních indexů. Tato metoda umožňuje rozpoznat hustotu vegetačního pokryvu a také zdravotní stav vegetace. Výsledky této práce prokázaly závislost hodnot NDVI na fenologickém vývoji plodin.

*Z výsledků byla potvrzena hypotéza, že zemědělské plodiny dosahují největší odrazivosti v jejich plném vývoji, kdy je zároveň eliminován vliv půdy na odrazivost.*

Výsledky získané těmito způsoby mohou sloužit k rozpoznání jednotlivých zemědělských plodin, což může být přínosné například pro snadnější kontrolu dodržování osevních postupů či pro odhady produkce zemědělských plodin.

Co se týče zapojení DPZ do konceptu precizního zemědělství, musím konstatovat, že snímky využitě v této práci mají svá úskalí. Hlavním důvodem je prostorová rozlišovací schopnost, která činí u snímků MERIS 300 m. Také způsob hospodaření na zemědělských plochách přináší své problémy. Zemědělské plochy jsou ve většině případů členěny, tudíž pole osetá jednou plodinou zpravidla nedosahují rozměrů, které by odpovídaly prostorovému rozlišení spektrometru MERIS.

Patrně kvalitnější výsledky by mohla poskytnout data s vyšším prostorovým rozlišením. Například u družice QuickBird 2 dosahuje prostorová rozlišovací schopnost neuvěřitelných 65 cm a časová rozlišovací schopnost je rovněž na vysoké úrovni.



Z metodického hlediska by stálo za detailnější výzkum vlivu kvality atmosférických korekcí na dosažené výsledky. Tomu by také pomohlo sledování této problematiky v delším časovém horizontu.

## SEZNAM ZDROJŮ

### Knihy:

- CAMPBELL, James B. *Introduction to remote sensing*. 1. New York: The Guilford Press, 1987. 551 s. ISBN 0-89862-776-1.
- DOBROVOLNÝ, P.: *Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu*. 1. Brno: MU, 1998. 208s. ISBN 80-210-1812-7.
- KOLÁŘ, Jan. *Dálkový průzkum Země*. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 170 s. ISBN 80-03-00517-5.
- KOLÁŘ, J.: *Digitální zpracování obrazových dat*. Studie. Praha, 2008. ISBN 978-80-904163-0-7
- KOLÁŘ, J.: *Informační služby s využitím pozorovacích družic*. Studie. Praha, 2008. 55 s. ISBN 978-80-904163-4-5
- KOLÁŘ, J.: *Principy fungování a využívání pozorovacích satelitů*. Studie. Praha 2008. 62 s. ISBN 978-80-904163-5-2
- KOLÁŘ, J.: *Radarová obrazová data a jejich využití*. Studie. Praha, 2008. 55 s. ISBN 978-80-904163-6-9
- KUPKOVÁ, Lucie. *Analýza vývoje české kulturní krajiny v období 1845 – 2000*. Praha, 2001. 212 s. Disertační práce.
- LILLESAND, Thomas. M.; KIEFER, Ralph. W.: *Remote sensing and image interpretation*. 3. New York, John Wiley & Son, Inc., 1994. 750 s. ISBN 0-471-57783-9
- VERBYLA, David L. *Satellite remote sensing of natural resources*. 1. New York: Lewis Publishers, 1995. 198 s. ISBN 1-55670-107-4.

### Články:

- AUERNHAMMER, Hermann. Precision farming – the environmental challenge. . *Computers and Electronics in Agriculture*. 2001, 30, 1-3, s. 31-43.
- BRODSKÝ L., SOUKUP, T. 2008. *Supervised crop classification from middle-resolution multitemporal images*. Proc. of the '2nd MERIS / (A)ATSR Users Workshop', Frascati, Italy 22-26 (ESA SP-666, November 2008).
- COHEN, W. B. Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1991, 57, Feb., s. 195-202.

HUNT Jr., E. Raymond; ROCK, Barret N. Detection of changes in leaf water content using Near- and Middle-Infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*. October 1989, 30, s. 43-54.

MERHEIM-KEALY, P.; HUOT, J.P.; DELWART, S. The MERIS ground segment. *International Journal of Remote Sensing*. 1999, 20, 9, s. 1703-1712.

MORAN, M. S., INOUE, Y., BARNES, E. M.: Opportunities and Limitations for Image – Based Remote Sensing in Precision Crop Management. *Remote Sensing for Environment*. 1997, 61, 3, s. 319 – 346.

ORTIZ, M. J., FORMAGGIO, A. R., EPIPHANIO, J. C. N.: Classification of croplands through integration of remote sensing, GIS, and historical database. *International Journal of Remote Sensing*. 1997, 18, 1, s. 95 – 105.

RAST, M., BÉZY, J. L., BRUZZI, S.: The ESA Medium Resolution Imaging Spectrometer MERIS – a review of the instrument and its mission . *International Journal of Remote Sensing*. 1999, 20, 9, s. 1681 – 1702.

SEELAN, S. K., LAGUETTE, S., CASADY, G. M., SEIELSTAD, G. A.: Remote sensing applications for precision agriculture: A leasing community approach. *Remote Sensing of Environment*. 2003. s. 157 – 169.

VERSTRAETE, M. M., PINTY, B., CURRAN, P., J.: MERIS potential for land applications. *International Journal of Remote Sensing*. 1999, 20, 9, s. 1747 – 1756.

Internet:

*Agritec* [online]. 2008 [cit. 2010-05-15]. Agritec. Dostupné z WWW: <<http://www.agritec.cz/new/>>.

DOBROVOLNÝ, Petr. *SCIMUNI* [online]. 2001 [cit. 2010-03-07]. Mapování vegetace s využitím družicových snímků.

Dostupné z WWW: <[http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky\\_povrch\\_vegetace.html](http://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html)>.

*ESA : BEAM* [online]. 2010 [cit. 2010-04-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/>>.

*ESA : EOLI* [online]. 2009 [cit. 2010-03-08]. Dostupné z WWW: <<http://earth.esa.int/EOLi/EOLi.html>>.

*ESA* [online]. 2000 [cit. 2010-02-20]. Space for Europe. Dostupné z WWW: <<http://www.esa.int/esaCP/index.html>>.

*Fundamental of Remote Sensing* [online]. [s.l.] : Canada Centre for Remote Sensing, 29.1. 2008 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <[http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index\\_e.php](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php)>.

*GIOVANNI — GES DISC : Goddard Earth Sciences, Data & Information Services Center* [online]. 2010 [cit. 2010-04-25]. Dostupné z WWW: <<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>>.

*Gisat* [online]. 2009 [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.gisat.cz/content/cz>>.

*MEK* [online]. ? [cit. 2010-02-18]. Malá encyklopedie kosmonautiky. Dostupné z WWW: <<http://mek.kosmo.cz/>>.

*MERIS: Product Handbook* [online]. 2.1 [s.l.] : Euroean Space Agency, 24 October 2006. [cit. 2010-01-15]. Dostupné z WWW: <<http://envisat.esa.int/handbooks/meris/>>.

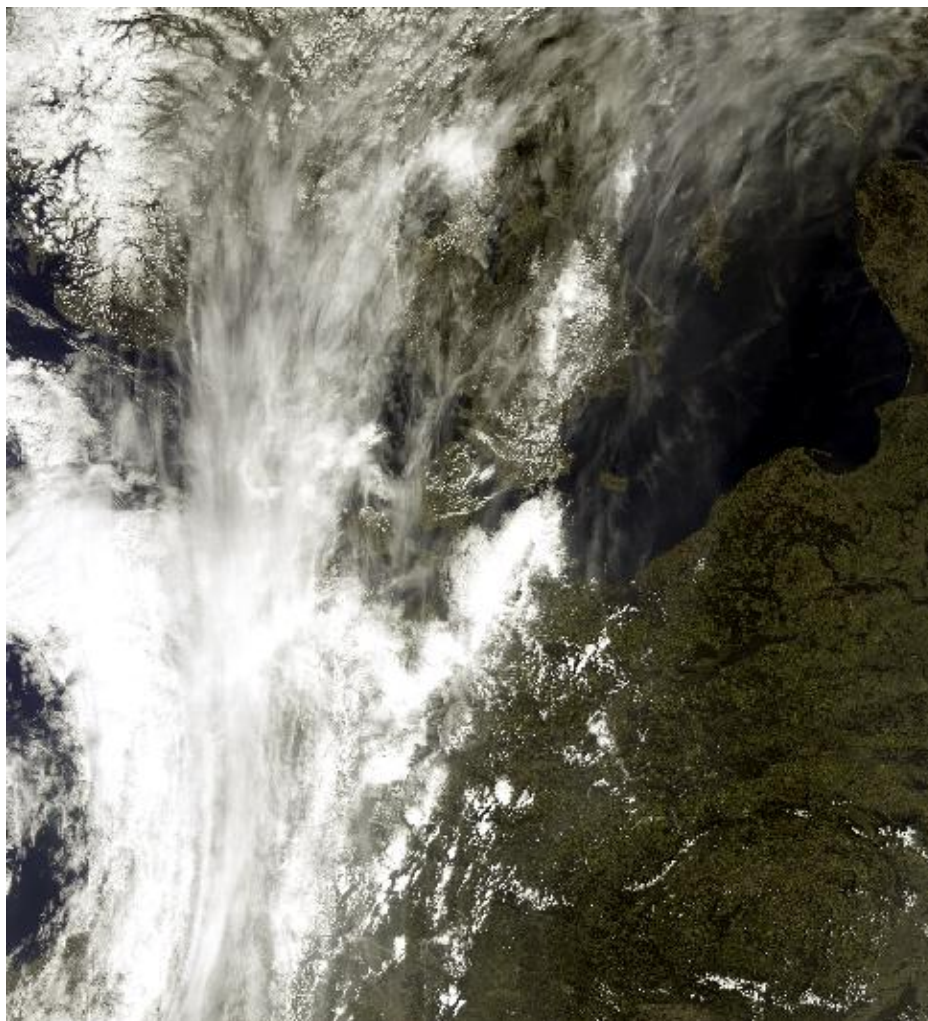
*Service support environment : SOSI* [online]. 2010 [cit. 2010-03-15]. Dostupné z WWW:

<<http://services.eoportal.org/portal/service/ShowServiceInfo.do?serviceId=94813C82>>

## **SEZNAM PŘÍLOH**

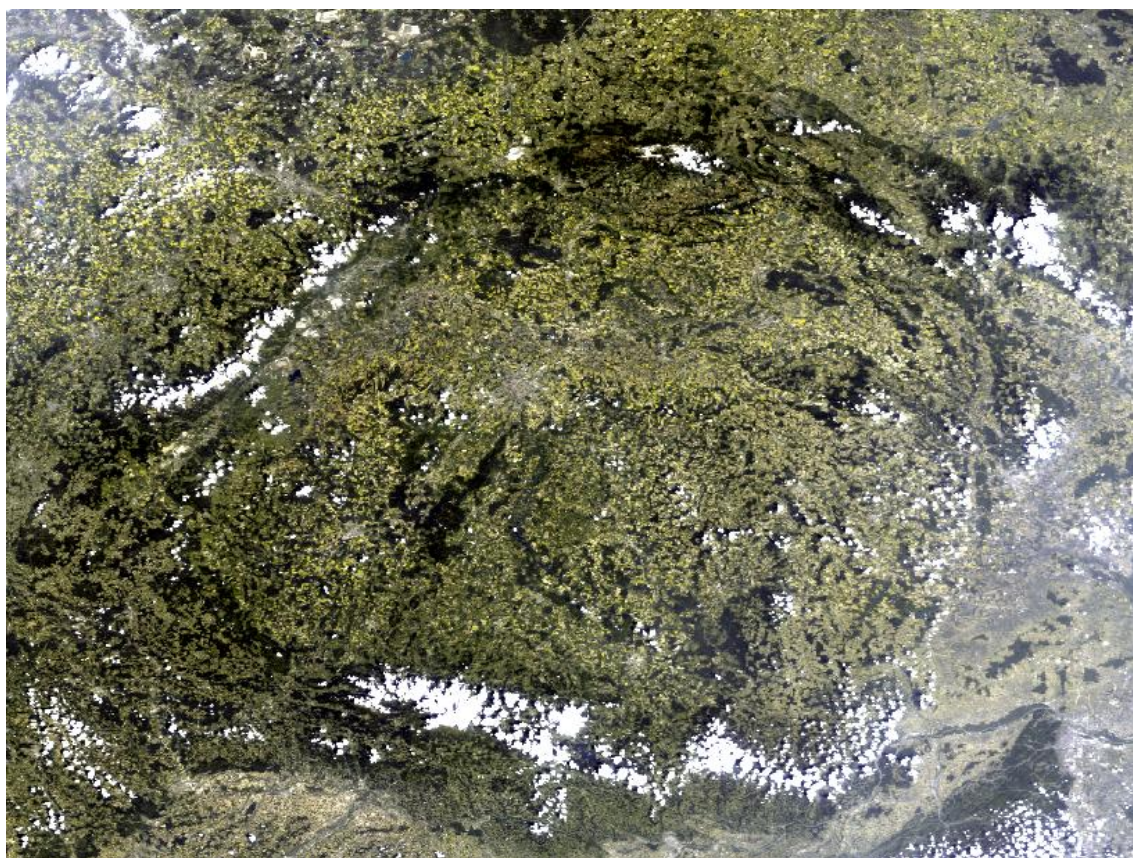
Příloha 1	Satelitní snímek pořízený spektrometrem MERIS 3. 5. 2009 .....	46
Příloha 2	Data MERIS - výřez České republiky 3. 5. 2009 .....	47
Příloha 3	CD s elektronickou verzí práce	

**Příloha 1: Satelitní snímek pořízený spektrometrem MERIS 3. 5. 2009**



*Zdroj: data MERIS*

**Příloha 2: Data MERIS - výřez České republiky 3. 5. 2009**



*Zdroj: data MERIS*